

Maschinenelemente II

Dieser Umdruck enthält Übungsaufgaben (alte Klausuraufgaben) zu den Themenbereichen

- **Schweißen**
- **Dauerfestigkeit**
- **Zahnradberechnung**

SS04

1. Dauerfestigkeit

Der handgefertigte Prototyp einer Getriebezwischenwelle (s. Bild) soll einer Dauerprüfung unterzogen werden.

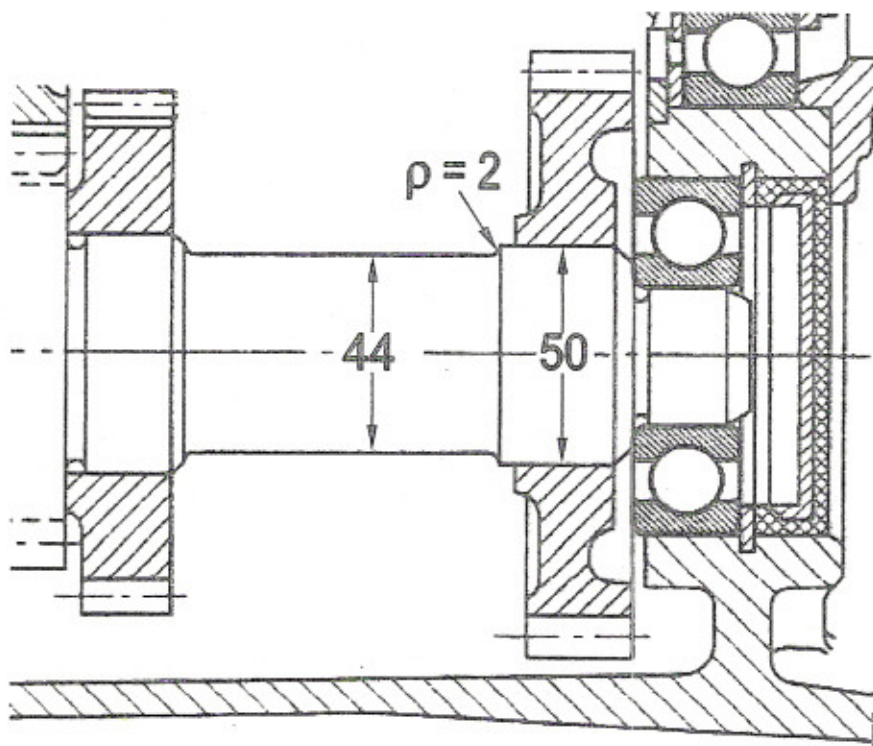
Vorab soll rechnerisch abgeschätzt werden, ob die Welle dauerhaft ausgelegt ist.

Die Belastung an der Berechnungsstelle mit dem Übergangsradius $\rho = 2\text{mm}$ ist dabei durch ein Drehmoment M_t gegeben, zusätzlich tritt ein Biegemoment M_b auf („umlaufende Biegung“).

(Axialkräfte treten nicht auf, Schubkräfte sind zu vernachlässigen.)

Rechnen Sie vereinfachend mit $\alpha_{k,b} \approx 1,4 \cdot \alpha_{k,t}$!

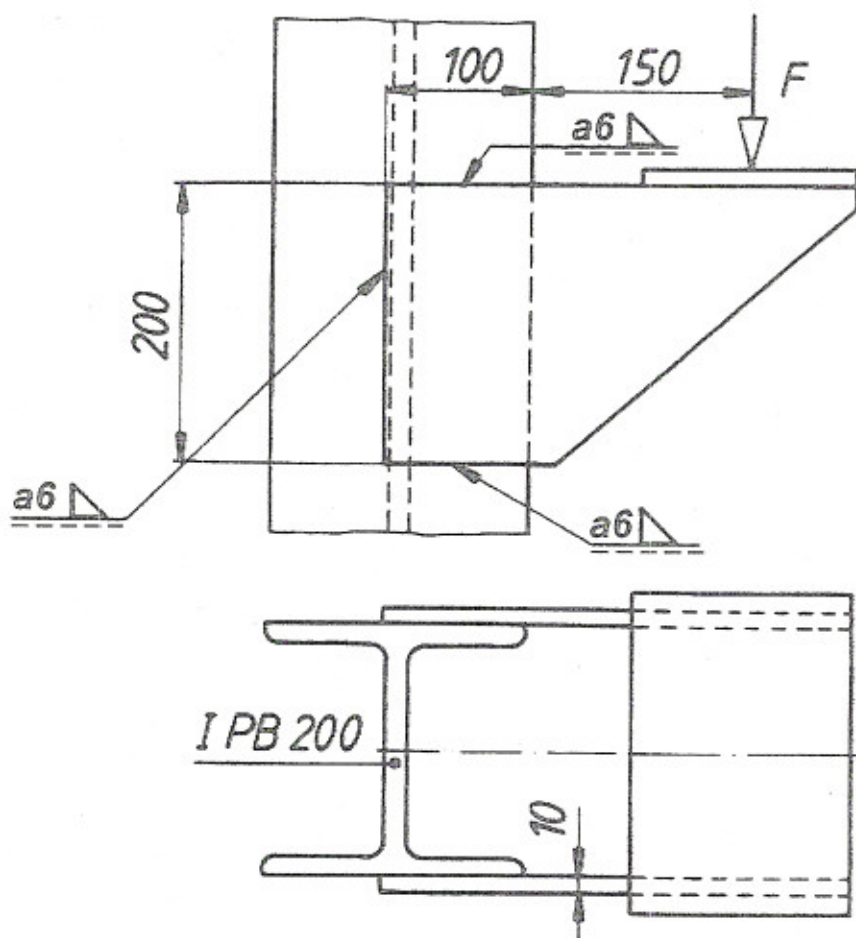
Gegebene Daten:	Wellenwerkstoff <i>St50</i>
Drehmoment	$M_t = M_{t,m} \pm M_{t,a} = 700\text{Nm} \pm 35\text{Nm}$
Biegemoment	$M_b = M_{b,m} \pm M_{b,a} = 0\text{Nm} \pm 40\text{Nm}$
Rauhtiefe	$R_t = 10\mu\text{m}$



Ein zweiwandiges Konsol aus St52-2 wird durch eine mittig zwischen den Ste
wirkende Kraglast $F = 70\text{kN}$ schwellend belastet.

Festigkeitsmäßig ist überschlägig zu prüfen, ob der nicht voll umschweißte
Kehlnahtanschluß ausreichend dimensioniert ist. Dabei ist in diesem Fall zu

setzen: $\tau_{W,zul} = \frac{\sigma_{W,zul}}{\sqrt{2}}$.

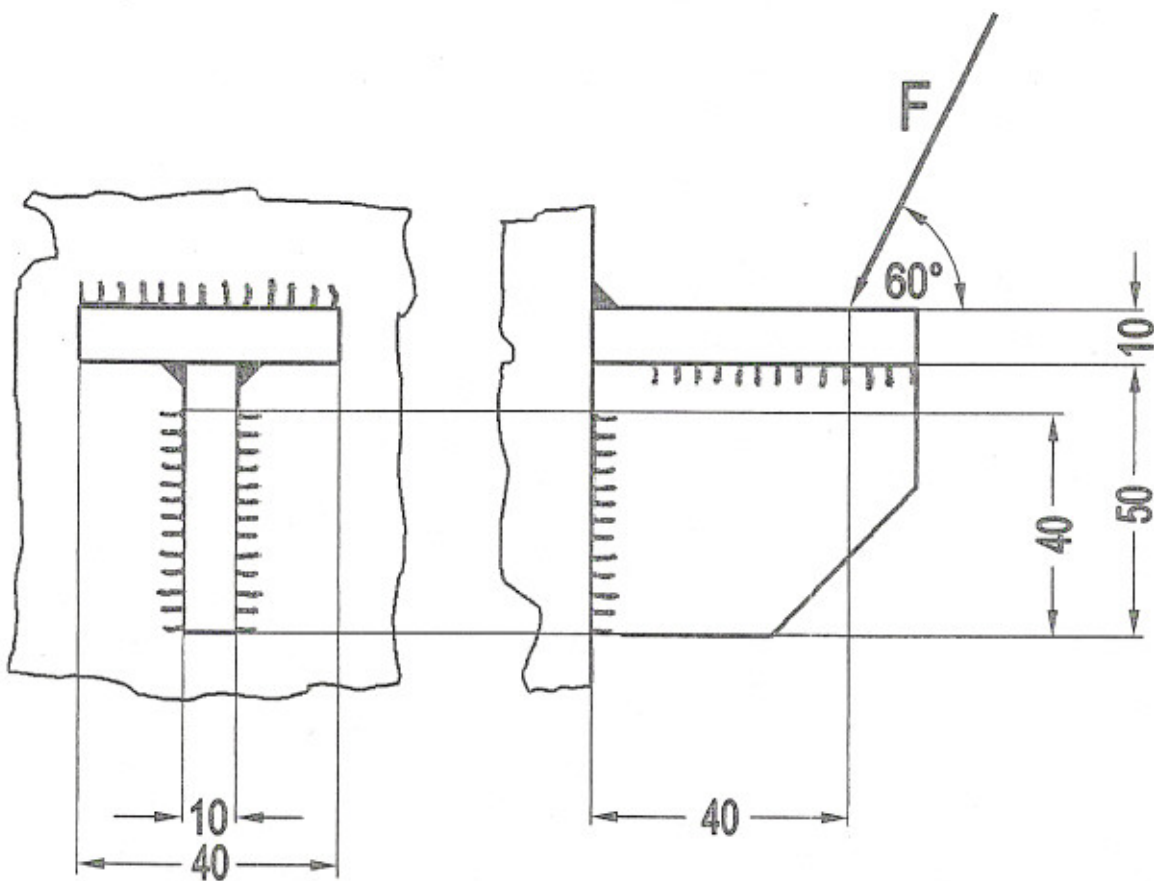


3. Schweißverbindung im Maschinenbau

Eine Konsole (Werkstoff: S235JR bzw. St 37-2) wird an einen Anschluß geschweißt, s. untenstehende Skizze (Werkstoff: S235JR bzw. St 37-2).

Die Konsole wird beansprucht durch eine unter einem Winkel von 60° angreifende schwellende Kraft $F_{\text{Schwellend}} = 5 \text{ kN}$ beansprucht.

Es ist zu überprüfen, ob durch die 3 Schweißnähte (Kehlnähte: 1 Naht waagrecht, 2 Nähte senkrecht, Dicke jeweils $a = 4 \text{ mm}$, Fläche jeweils $A_w = 160 \text{ mm}^2$) eine ausreichende Festigkeit gewährleistet ist.

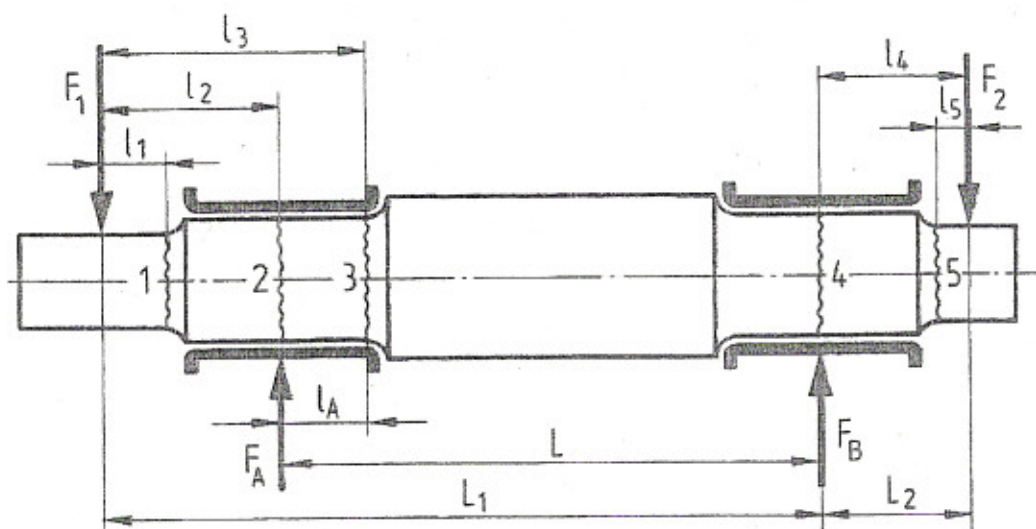


(Zeichnung nicht maßstäblich!)

4. Dauerfestigkeit

Eine Getriebewelle aus E360 (alte Bezeichnung: St 70) nach untenstehendem Bild wird im Querschnitt 1 durch eine Kraft $F_1 = 30\text{ kN}$ auf Biegung beansprucht.

Zusätzlich muss die Getriebewelle bei einer Drehzahl von $n = 500\text{ min}^{-1}$ eine Leistung $P = 75\text{ kW}$ übertragen, das daraus resultierende Drehmoment sei konstant und wird am linken Zapfen mit dem Querschnitt 1 eingeleitet.



Gegebene Daten:

Durchmesser	$d_1 = 85\text{ mm}$
Durchmesser	$d_2 = 105\text{ mm}$
Maß	$l_1 = 100\text{ mm}$
Übergangsradius	$\rho = 5\text{ mm}$
Formzahl für Torsion	$\alpha_{kt} = 1,46$
Oberflächenrauhtiefe	$R_t = 20\text{ }\mu\text{m}$

Dauerfestigkeitsschaubilder für Stähle: s. Umdruck „Dauerfestigkeit“!

Aufgaben:

- Berechnen Sie die wichtigen Beanspruchungen (Biegemoment, Torsionsmoment) an der Berechnungsstelle im Querschnitt 1 (Wellenabsatz).
- Bestimmen Sie die im Kerbgrund maximal auftretenden Spannungen.

(Wichtige Hinweise:

Die aus der Querkraft F_1 entstehende Schubspannung wird vereinfachend vernachlässigt. Die Formzahl für Torsionsbeanspruchung ist oben angegeben!)

- Wie hoch ist die Sicherheit gegen Dauerbruch S_D ? Ist der Wellenabsatz dauerhaft ausgelegt?

5. Schweißverbindung im Stahlbau

Bild 5.1 zeigt den Schweißanschluß einer Tragöse (Werkstoff: St 37-2). Für die Dimensionierung ist der Lastfall HZ maßgebend, die Belastung ist durch die Kraft $F = 30000 \text{ N}$ gegeben.

Weitere Rechenangaben:

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$h = 60 \text{ mm}$$

$$l = 60 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

Führen Sie den Festigkeitsnachweis durch!

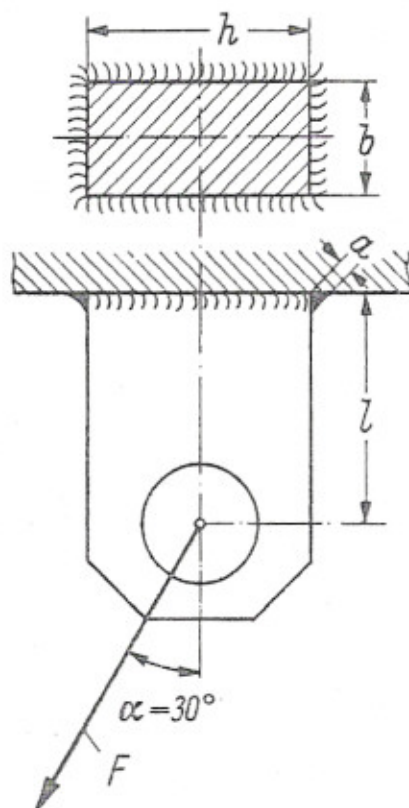


Bild 5.1 Tragöse mit Kehlnahtverbindung

6. Dauerfestigkeit

In Bild 6.1 ist die Zwischenwelle eines Getriebes dargestellt (Werkstoff: 41Cr4 mit $R_m = 800 \text{ N/mm}^2$ für $d > 40 \text{ mm}$).

Ermitteln Sie die Sicherheit gegen Dauerbruch S_D für den gefährdeten Querschnitt 3 bei folgenden gleichzeitig auftretenden Belastungen:

- Die Welle überträgt ein rein wechselndes Drehmoment von $M_t = 1500 \text{ Nm}$.
- Im Querschnitt 3 tritt umlaufende Biegung auf. Dabei beträgt die Biegezugspannung im Kerbgrund (Restquerschnitt) $\sigma_{ban} = \pm 55 \text{ N/mm}^2$, der Einfluß der Kerbe ist durch $\alpha_{kb} = 1,75$ und $\beta_{kb} = 1,6$ beschrieben.

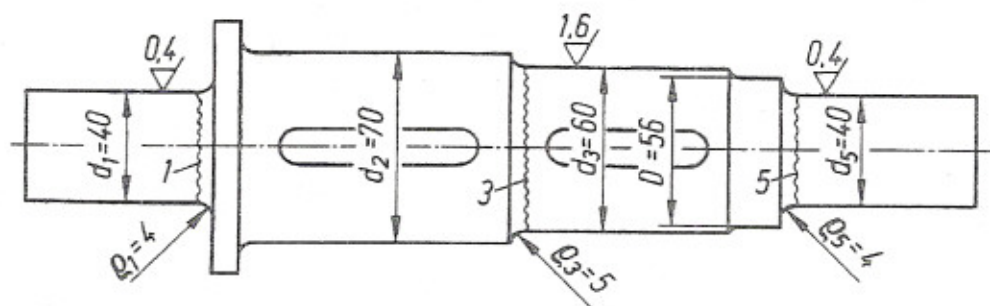
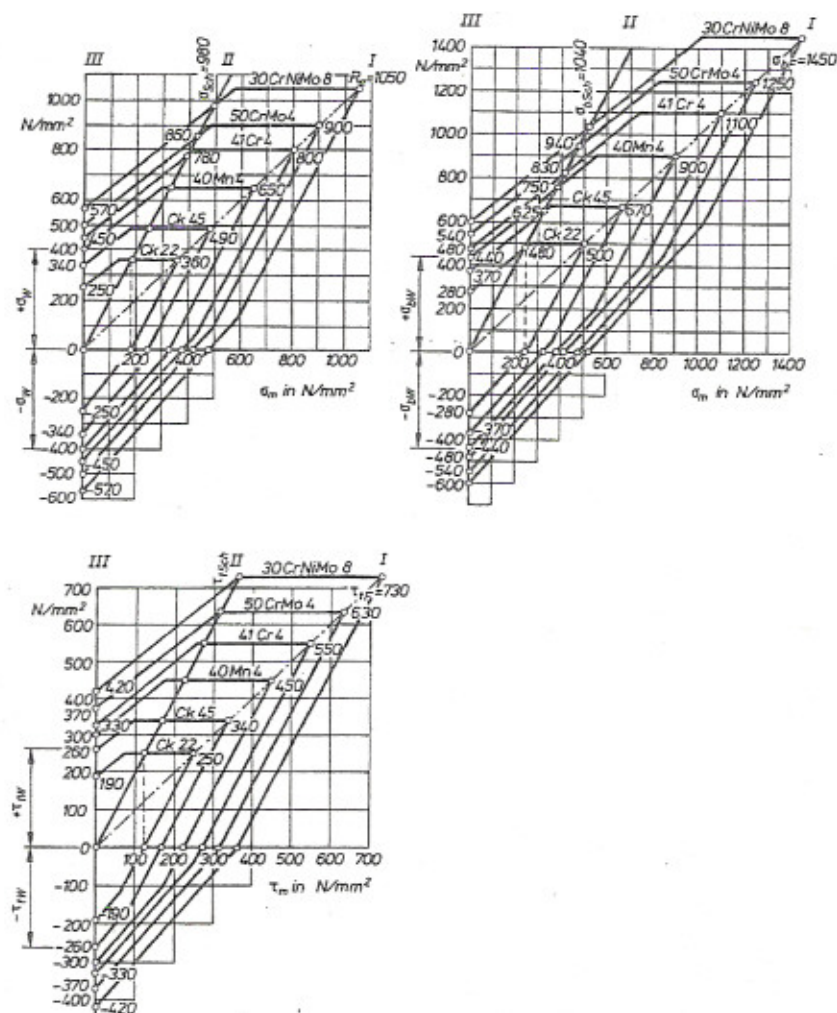


Bild 6.1 Zwischenwelle eines Getriebes



7. Schweißverbindung im Maschinenbau

Untenstehendes Bild 7.1 zeigt den Schweißanschluß zweier Bleche zur Aufnahme eines Seiles bei einer Anwendung im Maschinenbau (Werkstoffe: St 37-2). Die Seilkraft $F = 15 \text{ kN}$ tritt schwellend auf.

Führen Sie den Festigkeitsnachweis durch!

Alle Kehlnähte

$$a = 6$$

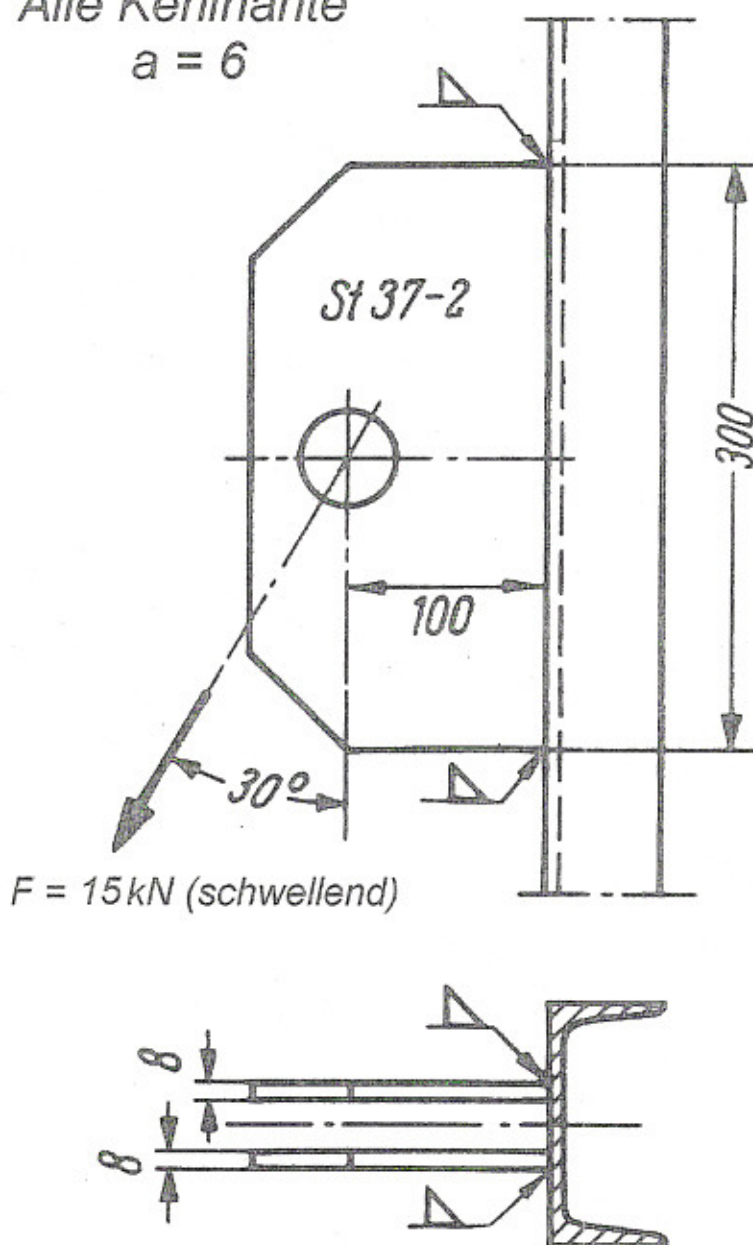


Bild 7.1 Schweißanschluß für zwei Bleche für eine Seilbefestigung

8. Aufgabe: Zahnradberechnung:

Das untenstehende Bild zeigt das Hubgetriebe einer Stückgutwinde der Fa. DEMAG.

Daten:

Zahnrad	Zähnezahl z	Modul m_n in mm	Schrägungsw. β in °	P.V.-Faktor x	Breite b in mm
Z1	37	3	- 8°	+0,5	55
Z2	64	3	+ 8°	- 0,5	50
Z3	19	5	?	0	70
Z4	89	5	?	0	65
Z5	15	8	- 12°	0	120
Z6	57	8	+ 12°	0	115

Teilaufgaben:

- Berechnen Sie die Zugkraft am Wickeldurchmesser (450 mm) der Seiltrommel bei der gegebenen Nennleistung des Motors von 25 kW bei 965 1/min (Verlustleistung je Zahnradengriff incl. Lagerreibung: 10 %).
- Der in der obigen Tabelle fehlende Schrägungswinkel der Zahnräder Z3 und Z4 soll so ausgelegt werden, daß die auf Welle III wirkenden Axialkräfte sich gegenseitig aufheben. Welche konstruktive Vereinfachung gegenüber der gegebenen Schnittzeichnung wird damit möglich?
- Berechnen Sie die Größe des Schrägungswinkels β_4 am Zahnrad Z4, so daß sich die Axialkräfte gemäß Teilaufgabe c) aufheben (ohne Verluste rechnen!).
Läßt sich Ihr Ergebnis realisieren?
Hinweis: negatives Vorzeichen = rechtssteigend, positives Vorzeichen = linkssteigend)
- Zeichnen Sie eine einfache räumliche Skizze der Zwischenwelle III und tragen Sie alle auf die Zahnräder Z4 und Z5 wirkenden Kräfte qualitativ richtig ein!

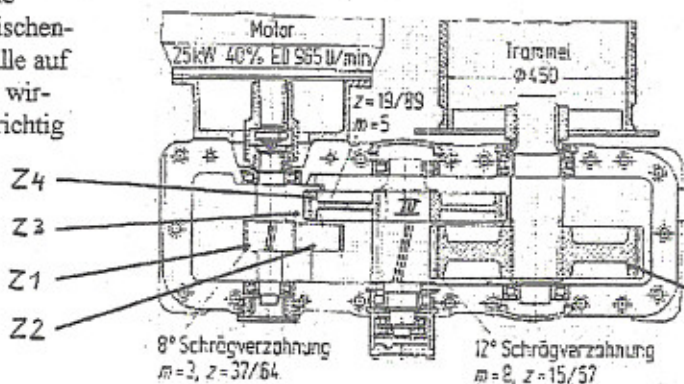


Abb. : Hubgetriebe (4-Wellen-Getriebe) der Fa. DEMAG
(vergrößertes Bild siehe nächste Seite)

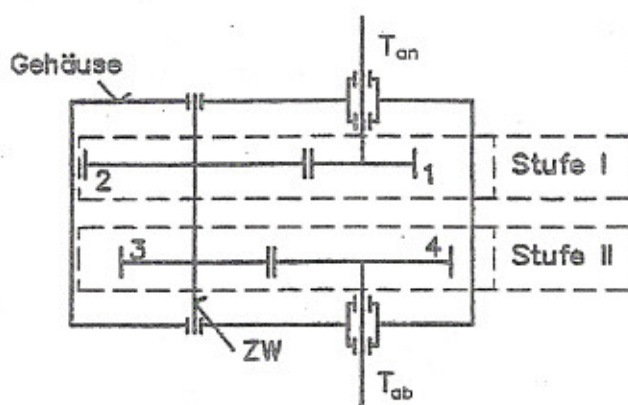
Aufgabe 9

(Zahnradgetriebe: 15 Punkte)

Es ist die zweite Stufe des in der Prinzipskizze dargestellten zweistufigen Stirnradgetriebes als Geradverzahnung auszulegen. Die An- und Abtriebswelle sollen coaxial liegen, d.h., die Achsabstände der ersten und zweiten Stufe müssen gleich sein.

Gegeben:

- Wälzkreisradien der ersten Stufe: $r_{w1} = 26,25 \text{ mm}$, $r_{w2} = 68,75 \text{ mm}$
- Antriebsdrehmoment: $T_{an} = 55 \text{ Nm}$
- Zahnradbreiten in der zweiten Stufe: $b_{II} = 50 \text{ mm}$
- Verzahnungsmodul in der zweiten Stufe: $m_{II} = 3 \text{ mm}$
- Profilverschiebungsfaktor für Rad 3: $x_3 = 0,5$
- Zähnezahlen in der zweiten Stufe: $z_3 = 19$, $z_4 = 43$
- Nulleingriffswinkel: $\alpha = 20^\circ$
- Zahnradwerkstoff: $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, $\nu = 0,3$
 $Z_M = 268 (\text{N/mm}^2)^{0,5}$



- Bestimmen Sie das Drehmoment (T_{ZW}) auf der Zwischenwelle (ZW), den Achsabstand (a), den Nullachsabstand (a_d) und den erforderlichen Betriebseingriffswinkel (α_w) für die zweite Stufe.
- Berechnen Sie den für einen flankenspielfreien Eingriff erforderlichen Profilverschiebungsfaktor für das Rad 3 (x_4) und runden Sie diesen sinnvoll (gegeben: $x_3 = 0,5$).
- Berechnen Sie die Profilüberdeckung (ϵ_α) für die zweite Stufe.
- Bestimmen Sie die Zahnfußspannungen in der zweiten Stufe nach der vereinfachten Berechnung (ohne Berücksichtigung der Lastverteilung auf 2 Zahnpaare) sowie die Flankenpressung im Wälzpunkt entweder elementar nach der Theorie von Hertz oder nach der vereinfachten Berechnung (DIN 3990).

Die Kontrollen auf Unterschnitt, Spitzenbildung, Kopfkürzung und Eingriffsflankenspiel sind nicht erforderlich!

10. Aufgabe: Zahnradberechnung Geradverzahntes Evolventen-Stirnradgetriebe

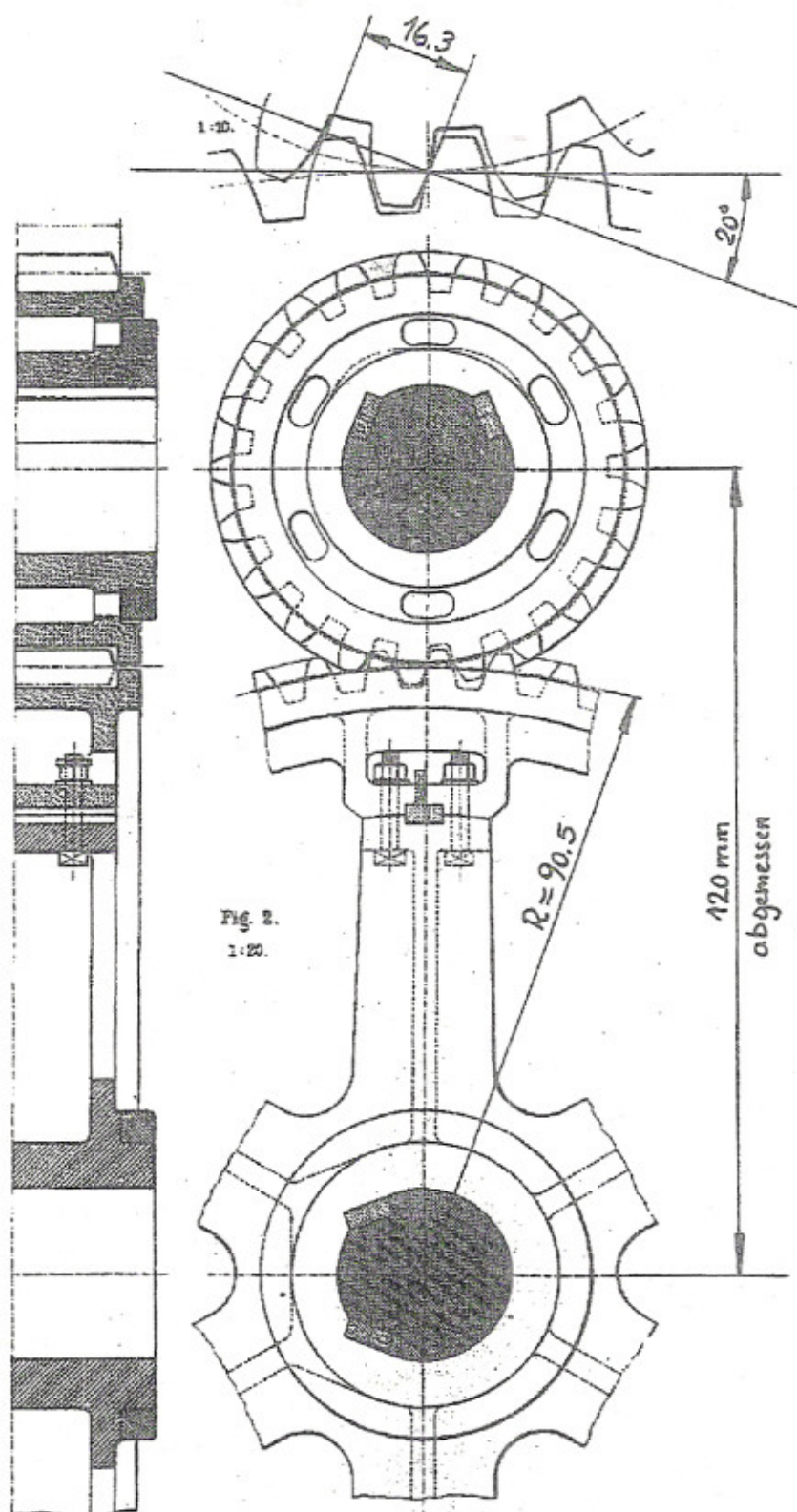
In einem alten Industriekomplex soll ein beschädigtes Zahnradpaar am Abtrieb einer Dampfmaschinenanlage rekonstruiert werden. Da die Zahnräder stark verschlissen und teilweise gebrochen sind, muss auf alte Zeichnungen zurückgegriffen werden (s. Bild auf der nächsten Seite). Beachten Sie außerdem die folgende Datentabelle:

Geometriegröße		Einheit	Ritzel (1)	Rad (2)
Werkstoff	—	—	E 335	EN-GJS-600-3
Zahnfuß-Schwellfestigkeit	σ_{Fl}	N/mm ²	300	280
Flanken-Dauerfestigkeit	σ_{Hl}	N/mm ²	380	400
Achsabstand	a	mm	2400	
Zahnradbreite	b	mm	600	600
Eingriffsteilung p_e	p_e	mm	162,4	
Teilkreisteilung	p	mm		
Modul	m	mm		
Zähnezahl	z	—	21	
Übersetzung	i	—		
Teilkreisdurchmesser	d	mm		
Grundkreisdurchmesser	d_b	mm		
Wälzkreisdurchmesser	d_w	mm		
Nullachsabstand				
Betr.-Eingriffsw.	α_w	°		
Summe der PV-Fakt	$\sum x$	—		
PV-Faktoren	x	—		
Zahnformfaktor (ME-Umdr.)	Y_f	—		

Teilaufgaben: Tragen Sie Ihre Ergebnisse jeweils in die Tabelle ein!

- Ermitteln Sie aus den gemessenen Daten (s. Zeichnung) die Eingriffsteilung, die Teilkreisteilung und den Modul der Geradverzahnung.
Hinweis: genormte Moduln sind z.B. 40mm, 45mm, 50mm, 55mm, 60mm, 70mm.
- Schätzen Sie die Zähnezahl des großen Rades über den gemessenen Teilkreisradius ab.
- Berechnen Sie aus den gewonnenen Daten die Übersetzung, die Teil-, Grund- und Wälzkreisdurchmesser beider Räder sowie den Nullachsabstand.
- Berechnen Sie die Summe der PV-Faktoren und teilen Sie diese dann sinnvoll auf beide Räder auf, wenn das zusätzliche Flankenspiel nicht korrigiert wird.
- Welche Nennleistung P_N kann bei einer Antriebsdrehzahl des Ritzels (1) von 150 1/min und einer Sicherheit gegen Zahnbruch $S_F = 3,0$ übertragen werden? (Hinweis: die Flankentragfähigkeit soll hier nicht nachgerechnet werden !)

Zahneingriff M 1:10



M 1:20

alle Maße sind auf 1 : 1
umzurechnen !